急性偏热环境温度对肉鸡行为、生理、血清生化指标和禽类解偶联蛋白 mRNA 表达量的影响

李 香[1,2] 石玉祥[2] 冯京海[1] 李 萌[1,3] 周 莹[1] 张敏红[1*]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；2.河北工程大学农学院，邯郸 056021；3.东北农业大学动物科技学院，哈尔滨 150030）

摘 要：本文旨在探讨急性偏热环境温度对肉鸡行为、生理、血清生化指标和禽类解偶联蛋白（*avUCP*）mRNA 表达量的影响。试验选取 100 只 26 日龄、体重(1 635±123) g 的爱拔益加（AA）肉鸡，随机分成 5 个组（20、23、26、29、32 ℃组），每个组 20 只鸡（公、母各占 1/2）。肉鸡适应期为 7 d，温度为 20 ℃，相对湿度为 60％。在 34 日龄，环控舱温度在 1 h 内分别调整到 20、23、26、29、32 ℃，相对湿度为 60%，维持设定温度 2 h。结果表明：1）与 20 ℃组相比，29 和 32 ℃组肉鸡的采食次数显著降低（$P<0.05$），23、26、29、32 ℃组肉鸡的饮水次数无显著差异（$P>0.05$），23、26、29、32 ℃组肉鸡的站立次数显著降低（$P<0.05$）。2)与 20 ℃组相比，26、29、32 ℃组肉鸡坐着休息次数显著降低（$P<0.05$），23、26、32 ℃组肉鸡伸展休息次数显著升高（$P<0.05$），29、32 ℃组肉鸡俯伏休息次数显著升高（$P<0.05$））。3）与 20 ℃组相比，26、29、32 ℃组肉鸡体核温度、呼吸频率显著升高（$P<0.05$），23、26、29、32 ℃组肉鸡鸡冠皮温、耳垂皮温、小腿皮温、脚蹼皮温显著升高（$P<0.05$），26、29、32 ℃组肉鸡眼睑皮温显著升高（$P<0.05$）。4）与 20 ℃组相比，29、32 ℃组肉鸡血清葡萄糖（GLU）含量显著降低（$P<0.05$），26、29、32 ℃组肉鸡血清甘油三酯（TG）含量显著降低（$P<0.05$），23、26、29、32 ℃组肉鸡血清总胆固醇（TC）含量差异不显著（$P>0.05$）。5）与 20 ℃组相比，23、26、29、32 ℃组肉鸡胸肌 *avUCP* mRNA 表达量显著降低（$P<0.05$），32 ℃组肉鸡肝脏 *avUCP* mRNA 表达量显著升高（$P<0.05$）。由此可见，急性偏热处理 2 h，23 ℃时肉鸡就已启动化学调节，26 ℃时体核温度升高。

关键词：急性偏热环境温度；肉鸡；行为；禽类解偶联蛋白

中图分类号：S831 文献标识码： 文章编号：

急性短期高温严重影响肉鸡福利与生产。在我国春夏之交时，经常出现环境温度骤然升高的现象，导致肉鸡生长性能降低，抵抗力下降，维持能量需求增加[1-2]。Quinteiro-Filho 等[3]研究表明，36 ℃急性应激 10 h，肉鸡的生长性能降低。Zulkifli 等[4]研究表明，36 ℃急性应激 3 h，肉鸡体核温度显著升高。Parker 等[5]研究表明，火鸡在 28 日龄时，37.8 ℃条件下，采食量显著下降，体温显著升高。目前国内外相关的研究主要集中在 32 ℃及以上高温热应激环境。线粒体是细胞内氧化磷酸化和形成 ATP 的主要场所。禽类解偶联蛋白（avUCP）是家族的一员，位于线粒体内膜，作为质子通道驱散氧化吸收时形成的氢离子（H^+）梯度，降低了线粒体膜电位差，从而增加呼吸产热，阻止 ATP 的形成，对维持动物体温平衡有重要意义。目前关于环境温度对肉鸡胸肌和肝脏 *avUCP* mRNA 表达量研究的报道较少。本课题组研究发现，持续偏热和间歇性偏热（26 和 31 ℃）影响肉鸡的体核温度、酸碱平衡、生长性能以及糖脂代谢，且不同偏热程度对肉鸡影响程度不同[6-7]。由此可见，偏热环境已经对于肉鸡各方面产生影响。目前肉鸡品种追求快速生长和大块胸肌产量，但是肉鸡心血管系统、呼吸系统与之不匹配，肉鸡易受外界环境的刺激，敏感性降低[8]。然而有关急性偏热环境温度 23~32 ℃对肉鸡行为、生理、血清生化指标、*avUCP* mRNA 表达量的影响未见报

收稿日期：2016-09-01

基金项目：国家科技支撑计划课题“畜禽健康养殖环境控制关键技术研究与集成”（2012BAD39B02）；国家重点“十三五”研发计划课题“肉禽舒适环境的适宜参数及限值研究”（2016YFD0500509）；中国农业科学院科技创新团队项目（ASTIP-IAS07）

作者简介：李 香（1987—），女，河北邢台人，硕士研究生，研究方向为农业推广养殖。E-mail: 907440223@qq.com

*通信作者：张敏红，研究员，博士生导师，E-mail: zmh66@126.com

道。

因此，本试验研究不同急性偏热温度（20、23、26、29、32 ℃）对于肉鸡行为、生理、血清生化指标和 *avUCP* mRNA 表达量的影响，以期分别找出影响肉鸡行为、生理、血清生化指标及 *avUCP* mRNA 表达量的起点偏热温度，为肉鸡热舒适评价和温度骤变时的肉鸡饲养环境的调控提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物与试验设计

试验选取 26 日龄、体重(1 635±123) g 的健康爱拔益加（AA）肉鸡 100 只，随机分为 5 个组（20、23、26、29、32 ℃组），每个组 20 只鸡（公、母各占 1/2）。肉鸡适应期为 7 d，温度为 20 ℃，相对湿度为 60%。34 日龄时，环控舱温度在 1 h 内分别调整到 20、23、26、29、32 ℃，相对湿度为 60%，维持设定温度 2 h。

1.2 试验饲粮与饲养管理

试验动物在中国农业科学院北京畜牧兽医研究所动物营养学国家重点实验室昌平实验基地人工气候试验舱内进行，温度、相对湿度自动控制（精度分别为±1 ℃、±7%）。试验肉鸡采用平养，所用笼具为本实验室研发的单层平养笼具[9]，试验期间自由采食与饮水，全天 24 h 的光照，对其常规饲养及免疫。采用玉米-豆粕型饲粮，所用饲粮为参照 NRC(1994)营养需要配制的粉状配合饲料，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet（as-fed basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	56.51
豆粕 Soybean meal	35.52
豆油 Soybean oil	4.50
氯化钠 NaCl	0.30
石粉 Limestone	1.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.78
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.11
预混料 Premix[1)]	0.28
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.73
粗蛋白质 CP	20.07
钙 Ca	0.90
有效磷 AP	0.40
赖氨酸 Lys	1.00
蛋氨酸 Met	0.42
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.78

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 10 000 IU，VD_3 3 400 IU，VE 16 IU，VK_3 2.0 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 6.4 mg，VB_6 2.0 mg，VB_{12} 0.012 mg，泛酸钙 pantothenic acid calcium 10 mg，烟酸 nicotinic acid 26 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 0.1 mg，胆碱 choline 500 mg，Zn

($ZnSO_4·7H_2O$) 40 mg，Fe ($FeSO_4·7H_2O$) 80 mg，Cu ($CuSO_4·5H^2O$) 8 mg，Mn ($MnSO_4·H_2O$) 80 mg，I (KI) 0.35 mg，Se (Na_2SeO_3) 0.15 mg。

2) 计算值 Calculated values。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 行为指标

本试验采用目标取样法。结合 Ericsson 等[10]和 Bokkers 等[11]行为分类方法，确定观察活动行为（采食、饮水、站立）和休息行为（坐着、伸展、俯伏）项目，见表 2。

表 2 肉鸡行为类别及其定义

Table 2 Behavior of posture categories and their definition

行为分类 Behavioral of categories	行为定义 Definitions
活动行为 Activity behaviors	
饮水 Drinking	用喙啄饮水嘴
采食 Feeding	头在饲槽上方用喙啄饲料或头在饲槽上方瞬时停止采食后又继续啄料
站立 Standing	双腿站立，头静止不动或有轻微短暂的摆动
走动 Walking	身体发生位置的移动
啄 Pecking	喙接触地面或笼中其他固定设备
休息行为 Resting behaviors	
坐着 Sitting	肘关节或胸部着地、笼底，且头悬于颈上静止不动或有短暂地轻微的摆动
俯伏 Prostration	胸部着地或笼底，且颈部伏在地面（笼底）不动或头斜向伸长且嘴半开
伸展 Stretching	身体同一面的一只翅膀伸展（半展）和一条腿伸出不动

试验前，每个组随机挑选 6 只鸡（公、母各占 1/2），并在背部用无毒丙烯燃料做标记。试验录像时间是变温开始（08:00）录像，连续记录 3 h。采用目标取样法，将存储视频用 The Observer XT (Version 7.0,Noldus lnformation Technologly BV,Wageningen,Netherland)软件协助统计每只目标鸡各姿势活动行为、休息行为发生的次数。选取各个组温度达到后的 30 min，每隔 10 s，记录每个组 6 只鸡各种行为发生次数。数据记录整个过程中仅 1 人观察，观察各组的 1 个重复后，再进行下一重复的观察。

1.3.2 生理指标

体核温度的测定：每个组随机选择 5 只鸡（公、母各占 1/2），待舱内组温度稳定后 2~3 h 内，利用微型温度数据记录仪 DS1922L(分辨率 0.0625 ℃，精度±0.05 ℃)检测体核温度，每隔 5 min 检测 1 次。

呼吸频率的测定：选取每个组 6 只鸡，每隔 10 min 采集 1 次，每次测量每只鸡 1 min 的呼吸次数，共采集 6 次，每只鸡呼吸频率为 6 次呼吸次数的平均值。

皮温的采集和分析采用日本红外成像仪 InfReCH2640。操作步骤为：使用红外热成像仪对准试验鸡的头部、小腿垂直拍摄，拍摄距离为 0.5 m，每隔 3 min 拍摄 1 次，连续拍摄 1 h，

每只鸡拍摄 20 张，红外照片通过 FLIR TOOIS 分析，计量每张照片中鸡冠、小腿、脚蹼、眼睑、耳垂的温度，取同 20 个数据的平均值进行统计。

1.3.3　血清生化指标

维持设定温度 2 h，每个组随机选取 6 只（公母各占 1/2）肉鸡翅静脉采血 10 mL，3 000 r/min 离心 10 min 取上清液，- 80 ℃冷冻保存，待测。血清葡萄糖（GLU）、总胆固醇（TC）、甘油三酯（TG）试剂盒购于中生北控股份有限公司，采用比色法，具体操作按照说明书进行，所用仪器为日本日立 7160 全自动生化分析仪（日立公司）

1.3.4　胸肌、肝脏 *avUCP* mRNA 表达量

肉鸡 34 日龄急性 2 h 后立即放血，迅速采集胸肌、肝脏样品，置液氮中冻存，随后放 -80 ℃冰箱保存，用于测定 *avUCP* mRNA 表达量。

组织 *avUCP* mRNA 表达量测定步骤：1）用超纯 RNA 提取试剂盒（CWbio.Co.Ltd，Cat#CW0581）提取组织样本中总 RNA；2)反转录，用 HiFi-MMLVcDNA 第一链合成试剂盒（CWbio.Co.Ltd,Cat#CW0744）进行反转录，试验操作按产品说明书进行；3）实时定量荧光 PCR，用 ABI7500 型荧光定量 PCR 仪，采用 $2^{-\Delta\Delta CT}$ 法进行数据的相对定量分析。

引物设计如下。

目的基因 *avUCP* 引物：上游为 5′-ATCGGGCTCTACGACTCTGT-3′；下游为 5′-TGTGTCCTTGATGAGGTCGT-3′；扩增片段长度为 327bp。

内参基因甘油醛-3-磷酸脱氢酶（*GAPDH*）引物：上游为 5′-AACTTTGGCATTGTGGAGGG-3′；下游为 5′-ACGCTGGGATGATGTTCTGG-3′；扩增片段长度为 130bp。

1.4　数据处理及统计分析

试验数据采用 SAS 9.1 统计软件，单因素方差分析（one-way ANOVA），同时采用 Duncan 氏法多重比较，进行差异显著性分析，以 $P<0.05$ 为差异显著水平。

2　结　果

2.1　急性偏热环境温度对于肉鸡活动行为的影响

由表 3 可知，急性偏热处理 2 h，与 20 ℃组相比，29、32 ℃组肉鸡的采食次数显著降低（$P<0.05$），23、26、29、32 ℃组肉鸡的饮水次数无显著差异（$P>0.05$），23、26、29、32 ℃组肉鸡的站立次数显著降低（$P<0.05$）。

表 3　急性偏热环境温度对肉鸡活动行为的影响

Table 3　Effects of acute moderate ambient temperature on activity behaviors of broilers

次数

项目 Items	温度 Temperature/℃					*P* 值 *P*-value
	20	23	26	29	32	
采食 Feeding	30.40±8.38[a]	42.50±17.93[a]	28.25±17.86[ab]	10.75±5.85[bc]	5.00±3.00[c]	0.004 5
饮水 Drinking	3.00±2.64	8.66±6.02	11.00±18.19	27.00±15.39	1.67±1.15	0.108 6
站立 Standing	15.25±2.98[a]	5.60±2.50[b]	7.25±3.94[b]	7.75±3.30[b]	5.60±3.05[b]	0.002 6

同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著（$P>0.05$），不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。下表同。

In the same row, values with on letter or the same small letter superscripts mean no significant

difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as blow.

2.2 急性偏热环境温度对肉鸡休息行为的影响

由表 4 可知，急性偏热处理 2 h，与 20 ℃组相比，26、29、32 ℃组肉鸡坐着休息次数显著降低（P<0.05），23、26、32 ℃组肉鸡伸展休息次数显著升高（P<0.05），29、32 ℃组俯伏休息次数显著升高（P<0.05）。

表 4 急性偏热环境温度对肉鸡休息行为的影响

Table 4 Effects of acute moderate ambient temperature on resting behaviors of broilers

次数

项目 Items	温度 Temperature/℃					P 值 P-value
	20	23	26	29	32	
坐着 Sitting	145.33±22.78[a]	105.83±26.33[ab]	98.00±46.35[b]	96.80±39.28[b]	72.33±25.46[b]	0.015 1
伸展 Stretching	4.67±5.16[c]	33.8±17.17[b]	72.33±32.04[a]	18.50±10.07[bc]	44.50±30.87[b]	0.000 2
俯伏 Prostrating	25.25±13.40[c]	25.20±13.65[c]	31.60±1.52[bc]	50.25±25.32[ab]	55.75±16.76[a]	0.028 4

2.3 急性偏热环境温度对肉鸡生理指标的影响

由表 5 可知，急性偏热处理 2 h，与 20 ℃组相比，26、29、32 ℃组肉鸡的体核温度、呼吸频率显著升高（P<0.05），23、26、29、32 ℃组鸡冠皮温、耳垂皮温、小腿皮温、脚蹼皮温显著升高（P<0.05），26、29、32 ℃组肉鸡眼睑皮温显著升高（P<0.05）。

表 5 急性偏热环境温度对于肉鸡生理指标的影响

Table 5 Effects of acute moderate ambient temperatures on physiological indices of broiers

项目 ltems	温度 Temperature/℃					P 值 P-value
	20	23	26	29	32	
体核温度 Core body temperature/℃	40.94±0.93[d]	41.25±0.88[d]	41.86±0.42[c]	42.99±0.38[b]	43.86±0.67[a]	<0.000 1
呼吸频率 Respiratory frequency/(次/min)	21.25±1.97[c]	22.39±0.841[c]	55.08±4.09[b]	102.27±6.75[a]	104.41±17.66[a]	<0.000 1
鸡冠皮温 Comb skin temperature/℃	39.14±0.64[c]	41.16±0.28[b]	41.60±0.18[b]	43.26±0.17[a]	43.37±0.42[a]	<0.000 1
眼睑皮温 Eyelid skin temperature/℃	39.80±0.41[c]	41.11±0.15[c]	42.91±0.41[b]	42.91±0.21[b]	43.72±0.31[a]	<0.000 1
耳垂皮温 Earlobe skin temperature/℃	40.61±0.27[c]	40.89±0.20 [b]	41.78±0.33[b]	44.41±0.19[a]	44.18±0.19[a]	<0.000 1
小腿皮温 Leg skin temperature/℃	41.29±0.48[e]	41.79±0.32[d]	42.96±0.11[c]	44.41±0.19[b]	45.31±0.25[a]	<0.000 1
脚蹼皮温 Flipper skin temperature/℃	32.13±0.77[e]	34.36±0.86[d]	35.61±1.20[c]	37.33±0.71[b]	39.19±0.76[a]	<0.000 1

2.4 急性偏热环境温度对肉鸡血清生化指标的影响

由表 6 可知，急性偏热处理 2 h，与 20 ℃组相比，29、32 ℃组血清 GLU 含量显著降低（*P*<0.05），26、29、32 ℃组血清 TG 含量显著降低（*P*<0.05），23、26、29、32 ℃组肉鸡血清 TC 含量无显著差异（*P*>0.05）。

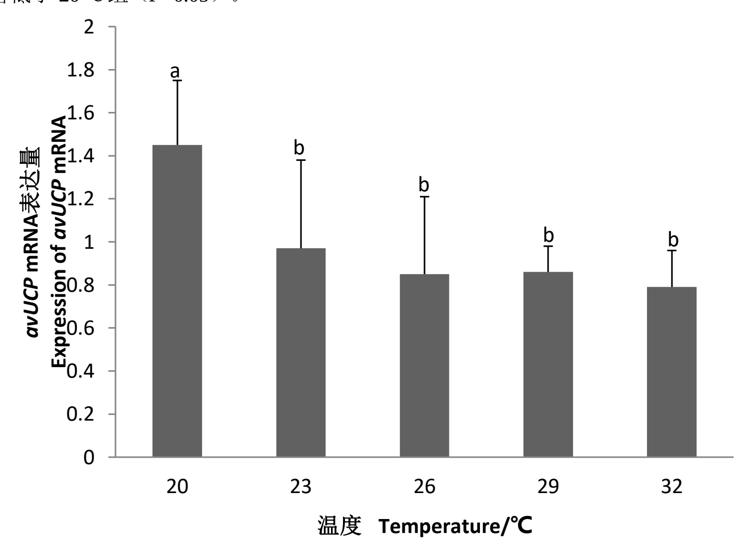
表 6 急性偏热环境温度对于肉鸡糖脂代谢相关血清生化指标的影响

Table 6 Effects of acute moderate ambient temperatures on serum biochemical indices of broilers

项目 Items	温度 Temperature/℃					*P* 值 *P*-value
	20	23	26	29	32	
葡萄糖 GLU/(mg/dL)	12.45±1.05[a]	12.37±1.43[a]	10.69±1.62[ab]	9.72±1.64[b]	9.66±0.82[b]	0.038 0
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.40±0.13[a]	0.37±0.10[a]	0.24±0.09[b]	0.22±0.04[b]	0.21±0.04[b]	0.002 4
总胆固醇 TC/(mmol/L)	0.95±0.10	0.98±0.32	1.04±0.24	1.00±0.36	1.31±0.53	0.425 6

2.6 急性偏热环境温度对肉鸡胸肌和肝脏 *avUCP* mRNA 表达量的影响

由图 1 可知，急性偏热处理 2 h，23、26、29、32 ℃组肉鸡胸肌 av*UCP* mRNA 表达量显著低于 20 ℃组（*P*<0.05）。



数据标注不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下图同。

Values columns with different small letters mean significant difference （*P*<0.05）. The same as below.

图 1 急性偏热环境温度对肉鸡胸肌 *avUCP* mRNA 表达量的影响

Fig.1 Effects of acute moderate ambient temperatures on expression of *avUCP* mRNA in pectoral of broilers

由图 2 可知，急性偏热处理 2 h，32 ℃组肉鸡肝脏 av*UCP* mRNA 表达量显著高于 20 ℃组（*P*<0.05）。

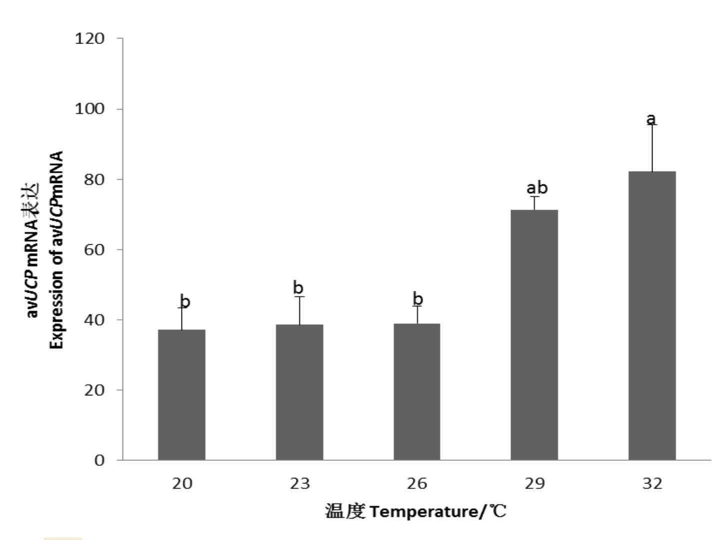


图 2　急性偏热环境温度对肉鸡肝脏 *avUCP* mRNA 相表达量的影响

批注 [W1]: 横纵坐标文字同上图

Fig.2　Effects of acute moderate ambient temperatures on expression of *avUCP* mRNA in liver of broilers

3　讨　论

3.1　急性偏热环境温度对肉鸡行为的影响

Pereira 等[12]研究表明，行为指标可反映肉种鸡热舒适状态。李梦涵等[13]研究表明，雏鸡在 40 ℃条件下急性处理 2 h，雏鸡的饮水量显著升高，站立和采食次数显著降低。Bozakova 等[14]研究表明，在 28、34 ℃时，鸭子站立和行走时间减少，休息时间增多。El-Shafaei 等[15]研究表明，7 周龄的鸭子在高温环境下，站立的行为时间百分比显著减少。本试验结果表明，与 20 ℃组相比，急性偏热环境温度刺激下，29 和 32 ℃组肉鸡的采食次数显著降低，这可能是因为随着环境温度的升高，抑制采食中枢导致采食次数减少；29 ℃组肉鸡的饮水次数明显增多，这表明 29 ℃时肉鸡体表和呼吸道蒸发散热增加；23、26、29、32 ℃组肉鸡的站立次数显著降低，表明 23 ℃起肉鸡开始减少活动行为，降低动物的热负荷，来维持体温平衡。

Mack 等[16]研究表明，32.6 ℃组蛋鸡展翅、休息行为增多，运动行为减少。胡春红等[17]研究表明，18、22、26、30 ℃条件下应激 1、3 d，26、30 ℃组肉鸡坐着休息时间显著减少，俯伏休息时间显著增多，26 ℃组伸展休息时间无显著影响，30 ℃组伸展休息时间显著升高。本试验结果得出，与 20 ℃组相比，23、26、29、32 ℃组肉鸡伸展休息次数显著升高，这表明 23 ℃时开始肉鸡休息姿势行为调节，通过增加伸展行为展开翅膀裸出腋下无羽区或伸出腿部以扩大散热面积；26、29 和 32 ℃组肉鸡坐着休息次数显著降低，表明急性偏热环境温度导致肉鸡休息行为质量下降；29 和 32 ℃组俯伏休息次数显著升高，表明肉鸡通过增加俯伏行为加快散热。

研究表明，体核温度、呼吸频率和皮肤温度能够准确反映肉鸡应激的强度以及舒适情况[18-20]。Toyomizu 等[21]研究表明，36、38 ℃热处理 30、60 min，引起体核温度的升高，体核温度最大值分别达到 44 和 46 ℃。张少帅等[22]研究表明，26 ℃急性应激 2 h，肉鸡体核温度达到 41.27 ℃。本试验研究结果表明，与 20 ℃组相比，26 ℃组肉鸡的体核温度显著升高，达到 41.86 ℃。在急性偏热环境温度处理肉鸡的物理和化学调节还不能维持热平衡，

动物体热遭到破坏，导致体内蓄热增加，肉鸡的体核温度显著升高。家禽没有汗腺，禽类通过加快呼吸、加大肺通气量以增加呼吸道的蒸发散热，维持体热平衡。韩爱云等[23]研究表明，肉鸡 35 ℃急性应激 3 h，肉鸡的呼吸频率极显著高于对照组。Toyomizu 等[21]研究表明，肉鸡 38 ℃急性应激 1 h，肉鸡的呼吸频率从 61 次/min 升到 261 次/min。Wang 等[24]研究表明，公鸡在 38 ℃时应激 4 h，呼吸频率显著升高，并且研究表明随着体核温度的升高，呼吸频率逐渐增加。呼吸频率的增多，有利用肉鸡散热，维持体温平衡。本试验研究结果表明，与 20 ℃组相比，26、29 和 32 ℃组分别使肉鸡呼吸频率每分钟增加 34、81、83 次，且随着环境温度的升高，肉鸡的每分钟呼吸次数显著增加。

张少帅等[22]研究报道，肉鸡 31 ℃时，应激 2 h，肉仔鸡的脸部和小腿温度极显著升高，呼吸频率极显著升高。周莹等[7]研究表明，肉鸡 26 ℃、85%的高相对湿度造成肉鸡耳垂、鸡冠皮温、小腿皮温、脚蹼皮温显著升高。Lin 等[25]研究表明，肉鸡 35 ℃、相对湿度为 60%条件下，胸部的温度显著升高。本研究发现，急性偏热处理 2 h，23、26、29 和 32 ℃组肉鸡鸡冠皮温、眼睑皮温、小腿皮温、脚蹼皮温显著高于 20 ℃组，26、29 和 32 ℃组耳垂皮温显著高于 20 ℃组。结果表明，急性偏热环境温度下，肉鸡急性处理 2 h，肉鸡的呼吸频率和皮温显著升高，表明在 23 ℃时，肉鸡开始行为、皮温调节，体核温度正常，26 ℃时行为、皮温调节不足以维持体热平衡，体核温度升高，呼吸频率增加。

3.3　急性偏热环境温度对肉鸡血清生化指标的影响

血清 GLU 的含量反映了动物能量代谢的状况。糖类是动物体内的重要能源物质，也是动物机体正常情况下的主要供能物质，动物体内能量的 70%来自 GLU 的分解代谢[26]。高温环境抑制肉鸡体内代谢，使代谢产物下降并且导致肉鸡的采食量下降，营养摄入不足，进而动用体内贮备的营养物质，并加速分解代谢以满足机体所需的能量和物质供应，导致血液中 GLU、总脂肪和蛋白质含量的下降[27]。目前，关于环境温度对肉鸡的血清 GLU 含量的研究比较多，但报道结果不一致。郑卓失[28]研究表明，急性应激肉鸡血清 GLU 含量显著升高。傅玲玉等[29]研究报道，36 ℃急性热处理，蛋鸡的血清 GLU 含量显著下降。Vecerek 等[30]研究表明，肉鸡血清 GLU 含量随着环境温度的升高显著下降。仲庆振等[31]研究表明，8 周龄的仔鹅，持续 40 ℃，热应激 2、4、6 h，仔鹅血清 GLU 的含量随着应激时间的延长显著升高。Lin 等[32]报道，32 ℃急性应激 3、6 h，肉鸡血清 GLU 含量无显著差异。本试验研究结果表明，急性偏热处理 2 h，与 20 ℃组相比，29 和 32 ℃组肉鸡血清 GLU 含量显著降低，这很可能是由于急性偏热应激初期肉鸡迅速动用能量以对付应激，而此时机体还来不及通过动员糖原或糖异生途径补充糖所致。对于不同环境温度下血清 GLU 含量的不同的原因，可能是血清 GLU 含量变化与鸡日龄和应激强度有关。

血清 TC、TG 含量反映机体脂类代谢水平。Kouba 等[33]等研究发现，31 ℃持续处理，育肥猪血清 TG 含量极显著升高。唐丽等[34]研究表明，急性短期高温 29 ℃，急性处理 4 h，肉鸡血清 TG 含量显著降低。刘梅[35]研究表明，急性热应激使血清中 TG 含量显著增加。本试验的研究结果表明，急性偏热处理 2 h，与 20 ℃组相比，26、29 和 32 ℃组显著降低了血清 TG 含量，23、26、29、32 ℃组肉鸡血清 TC 含量无显著差异。这些结果表明急性偏热环境温度不同程度上影响了肉鸡的脂类代谢水平。急性偏热初期机体能维持 TG 含量的稳定。随着急性偏热程度的不同，肉鸡需要更多的能量，贮存的脂肪在酶的催化分解为 TG 和脂肪酸。TG 在肝脏被利用，经过磷酸化和脱氢处理而进入糖的氧化分解途径来功能，或者转为 GLU，所以导致血清 TG 含量下降。

3.4　急性偏热环境温度对肉鸡胸肌和肝脏 *avUCP* mRNA 表达量的影响

avUCP 位于线粒体内膜，作为质子转运体将内膜外侧 H^+运回膜内侧，降低物质氧化过程形成的 H^+电化学梯度，使氧化过程与腺苷二磷酸(ADP)磷酸化过程脱偶联，能量不形成 ATP 而以热能的形式散发，增加能量的消耗[36]。avUCP 与动物的能量代谢及脂类代谢相关，

具有调节能量代谢的作用，热量损失显著地增加了动物的基础代谢率，增加了动物的维持能量需要[37]。Wang 等[38]研究表明，急性冷应激造成肉鸡腓肠肌 *avUCP* mRNA 表达量升高，且随着处理时间的延长呈升高趋势。Taouis 等[39]研究表明，肉鸡 40 ℃急性应激 24 h，肉鸡胸肌 *avUCP* mRNA 表达量显著降低。本试验研究表明，急性偏热处理 2 h，23、26、29、32 ℃组肉鸡胸肌 *avUCP* mRNA 表达量显著低于 20 ℃组。这一研究结果与 Mujahid 等[40-41]研究 34 ℃急性应激 18 h，肉鸡胸肌的 *avUCP* mRNA 表达量显著降低的结果一致。在高温环境下，线粒体呼吸链解偶联作用受到抑制，减少了细胞能量以热能的形式散发和机体产热。

研究发现，*avUCP* 基因在肝脏、骨骼肌组织广泛存在表达[42-43]。Gasparino 等[44]研究报道，34 ℃时热处理 24 h 对鹌鹑肝脏 *avUCP* mRNA 表达量均无显著差异。Qin 等[45]研究表明，肉仔鸡冷暴露 12 ℃，急性应激 6 h，肉鸡肝脏的解偶联蛋白 2(*UCP*2)mRNA 表达量显著增加，这表明 *UCP*2 mRNA 在肝脏的表达可能受冷应激的影响。本试验研究结果表明，急性偏热处理 2 h，32 ℃组肉鸡肝脏 *avUCP* mRNA 表达量显著增高，与肉鸡胸肌 *avUCP* mRNA 表达量显著降低结果相反，肝脏 *avUCP* mRNA 表达量显著增高的具体原因有待进一步探究。

综合以上结果可以发现，急性偏热环境温度 23 ℃时肉鸡不仅启动物理调节，如站立次数减少、伸展增多、皮温升高，而且启动化学调节，如 *avUCP* mRNA 表达量降低，产热减少。这表明 23 ℃已达到肉鸡临界温度上限。

4 结 论

本研究饲养条件下，急性偏热处理 2 h，23 ℃时肉鸡就已启动化学调节，26 ℃时体核温度升高。23 ℃可以作为偏热温度的起点。

参考文献：

[1] KLEIBER M.The fire of life:an introduction to animal energetics[M].2nd ed.New York:Krieger Publishing Co.,1975:453.

[2] SINURAT A P,BALNAVE D,MCDOWELL G H.Growth performance and concentrations of thyroid hormones and growth hormone in plasma of broilers at high temperatures[J].Australian Journal of Biological Sciences,1987,40(4):443–450.

[3] QUINTEIRO-FILHO W M,RIBEIRO A,FERRAZ-DE-PAULA V,et al.Heat stress impairs performance parameters,induces intestinal injury,and decreases macrophage activity in broiler chickens[J].Poultry Science,2010,89(9):1905–1914.

[4] ZULKIFLI I,DASS R T,NORMA M T C.Acute heat-stress effects on physiology and fear-related behaviour in red jungle fowl and domestic fowl[J].Canadian Journal of Animal Science,1999,79(2):165–170.

[5] PARKER J T,BOONE M A,KNECHTGES J F.The effect of ambient temperature upon body temperature,feed consumption,and water consumption,using two varieties of turkeys[J].Poultry Science,1972,51(2):659–664.

[6] 甄龙,石玉祥,张敏红,等.持续偏热环境对肉鸡生长性能、糖脂代谢及解偶联蛋白mRNA表达的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2060–2069.

[7] 周莹,彭骞骞,张敏红,等.相对湿度对间歇性偏热环境下肉鸡体温、酸碱平衡及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3726–3735.

[8] YAHAV S,SHINDER D,TANNY J,et al.Sensible heat loss:the broiler's paradox[J].World's Poultry Science Journal,2005,61(3):419–434.

[9] 张敏红,苏红光,冯京海,等.采集用于建立肉鸡生活环境舒适性评价模型数据的方法和专用装置:中国,CN103404447A[P].2013-11-27.

[10] ERICSSON M,FALLAHSHAROUDI A,BERGQUIST J,et al.Domestication effects on

behavioural and hormonal responses to acute stress in chickens[J].Physiology & Behavior,2014,133:161–169.
[11] BOKKERS E A M,KOENE P.Behaviour of fast-and slow growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequences[J].Applied Animal Behaviour Science,2003,81(1):59–72.
[12] PEREIRA D F,NÄÄS I A.Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis[J].Computers and Electronics in Agriculture,2008,62(1):2–7.
[13] 李梦涵,吴锦华,汪威,等.热应激雏鸡几种行为变化的初步观察[C]//2013海南省第五届生命科学联合学术会议论文汇编.海口:海南省微生物学会,2013:1.
[14] BOZAKOVA N A,STOYANCHEV K T,POPOVA-RALCHEVA S,et al.Behavioral study of mule ducks with subclinical muscular dystrophy under ecological comfort and stress conditions[J].Bulgarian Journal of Agricultural Science,2012,18(4):511–518.
[15] EL-SHAFAEI H E,SHARAF M M,RASHED R R.The effect of different intervention strategies to alleviate heat stress on behavior,performance and some blood parameters of growing Muscovy ducks[J].Alexandria Journal of Veterinary Sciences,2016,48(2):69–76.
[16] MACK L A,FELVER-GANT J N,DENNIS R L,et al.Genetic variations alter production and behavioral responses following heat stress in 2 strains of laying hens[J].Poultry Science,2013,92(2):285–294.
[17] 胡春红,张敏红,冯京海,等.偏热刺激对肉鸡休息行为、生理及生产性能的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2070–2076.
[18] HERBORN K A,GRAVES J L,JEREM P,et al.Skin temperature reveals the intensity of acute stress[J].Physiology & behavior,2015,152:225–230.
[19] YANAGI T,XIN H W,GATES R S.A research facility for studying poultry responses to heat stress and its relief[J].Applied Engineering in Agriculture,2002,18(2):255–262.
[20] GILOH M,SHINDER D,YAHAV S.Skin surface temperature of broiler chickens is correlated to body core temperature and is indicative of their thermoregulatory status[J].Poultry Science,2012,91(1):175–188.
[21] TOYOMIZU M,TOKUDA M,MUJAHID A,et al.Progressive alteration to core temperature,respiration and blood acid-base balance in broiler chickens exposed to acute heat stress[J].The Journal of Poultry Science,2005,42(2):110–118.
[22] 张少帅,甄龙,张敏红,等.急性偏热处理对肉仔鸡体热调节功能的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):402–409.
[23] 韩爱云,左晓磊,姚清国,等.急性高温对肉鸡生理状态及细胞免疫的影响[J].江苏农业科学,2012,40(4):215–217.
[24] WANG S H,CHENG C Y,TANG P C,et al.Differential gene expressions in testes of L2 strain Taiwan country chicken in response to acute heat stress[J].Theriogenology,2013,79(2):374–382.e7.
[25] LIN H,ZHANG H F,JIAO H C,et al.Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures.Ⅰ.One week of age[J].Poultry Science,2005,84(8):1166–1172.
[26] 邹思湘.动物生物化学[M].4版.北京:中国农业出版社,2005:138–139.
[27] ZHANG Z Y,JIA G Q,ZUO J J,et al.Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat[J].Poultry

Science,2012,91(11):2931–2937.
[28] 郑卓失.减轻家禽热应激的添加剂研究进展[J].中国畜牧杂志,1992,28(4):56–58.
[29] 傅玲玉,周庆堂,章怀云,等.高温对产蛋鸡的血液生化反应[J].中国畜牧杂志,1988(6):12–15.
[30] VECEREK V,STRAKOVA E,SUCHY P,et al.Influence of high environmental temperature on production and haematological and biochemical indexes in broiler chickens[J].Czech Journal of Animal Science,2002,47(5):176–182.
[31] 仲庆振,王丹,孙泽威,等.急性热应激期间鹅血清生化指标和相关激素变化规律的研究[J].中国畜牧杂志,2013,49(17):74–77.
[32] LIN H,DECUYPERE E,BUYSE J.Acute heat stress induces oxidative stress in broiler chickens[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology,2006,144(1):11–17.
[33] KOUBA M,HERMIER D,LE DIVIDICH J.Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig[J].Journal of Animal Science,2001,79(1):81–87.
[34] 唐丽.热应激对肉种母鸡繁殖性能、相关生理生化和分子指标的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.
[35] 刘梅.急性热应激对肉仔鸡生长性能及脂肪代谢的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):862–868.
[36] RICQUIER D,BOUILLAUD F.The uncoupling protein homologues:UCP1,UCP2,UCP3,StUCP and AtUCP[J].Biochemical Journal,2000,345(2):161–179.
[37] BUSIELLO R A,SAVARESE S,LOMBARDI A.Mitochondrial uncoupling proteins and energy metabolism[J].Frontiers in Physiology,2015,6:36.
[38] WANG J T,ZHANG X J,XU S W.Effects of cold stress on energy metabolism in the chicken[J].Chinese Journal of Applied phySiology,2009,25(2):172–176.
[39] TAOUIS M,DE BASILIO V,MIGNON-GRASTEAU S,et al.Early-age thermal conditioning reduces uncoupling protein messenger RNA expression in pectoral muscle of broiler chicks at seven days of age[J].Poultry Science,2002,81(11):1640–1643.
[40] MUJAHID A,SATO K,AKIBA Y,et al.Acute heat stress stimulates mitochondrial superoxide production in broiler skeletal muscle,possibly via downregulation of uncoupling protein content[J].Poultry Science,2006,85(7):1259–1265.
[41] MUJAHID A,AKIBA Y,TOYOMIZU M.Acute heat stress induces oxidative stress and decreases adaptation in young white leghorn cockerels by downregulation of avian uncoupling protein[J].Poultry Science,2007,86(2):364–371.
[42] RICQUIER D,MIROUX B,CASSARD-DOULCIER A M,et al.Contribution to the identification and analysis of the mitochondrial uncoupling proteins[J].Journal of Bioenergetics and Biomembranes,1999,31(5):407–418.
[43] EVOCK-CLOVER C M,POCH S M,RICHARDS M P,et al.Expression of an uncoupling protein gene homolog in chickens[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology,2002,133(2):345–358.
[44] GASPARINO E,DEL VESCO A P,VOLTOLINI D M,et al.The effect of heat stress on GHR,IGF-Ⅰ,ANT,UCP and *COX*Ⅲ mRNA expression in the liver and muscle of high and low feed efficiency female quail[J].British Poultry Science,2014,55(4):466–473.
[45] QIN B,SUN W Y,XIA H Z,et al.Effects of cold stress on mRNA level of uncoupling

protein 2 in liver of chicks[J].Pakistan Veterinary Journal,2014,34(3):309–313.

Effects of Acute Moderate Ambient Temperatures on Behavior, Physiology, Serum Biochemical Indices and Avian Uncoupling Protein mRNA Expression of Broilers

LI Xiang[1,2] SHI Yuxiang[2] FENG Jinghai[1] LI Meng[1,3] ZHOU Ying[1] ZHANG Minhong[1*]

(1. *State key laboratory of Animal Nutrition*, *Institute of Animal Sciences*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*; 2. *College of Agriculture*, *Univerity of Engineering*, *Handan* 056021, *China*;3. *College of Animal Science and Technology*, *Northeast Agricultural University* ,*Harbin* 150030, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of acute moderate ambient temperatures on behavior, physiology, serum biochemical indices and avian uncoupling protein (*avUCP*) mRNA expression of broilers. A total of hundred 26-day-old Arbor Acres (AA) broilers were allotted into five environment chambers (20, 23, 26, 29 and 32 ℃ groups), each chamber contained one cage with twenty birds (with ten males and ten females). The pre-test period lasted for 7 days and broilers were kept at 21 ℃ and 60% relative humidity. When broilers were 34-day-old, the temperature of five environment chambers were regulated to 20, 23, 26, 29 and 32 ℃ within one hour, respectively, while maintaining the relative humidity at 60% and both kept 2 hour. The results showed as follows: 1) compared with the 20 ℃ group, the feeding frequency of broilers in 29 and 32 ℃ group was significantly reduced (P<0.05), the drinking frequency of broilers in 23, 26, 29 and 32 ℃ groups was no significant difference （P>0.05）, the standing frequency of broilers in 23, 26, 29 and 32 ℃ groups was significantly reduced (P<0.05). 2) Compared with the 20 ℃ group, the sitting resting frequency of broilers in 26, 29 and 32 ℃ groups was significantly reduced (P<0.05), the stretching resting frequency of broilers in 23, 26 and 32 ℃ groups was significantly reduced (P<0.05), the prostrating resting frequency of broilers in 29 and 32 ℃ groups was significantly increased (P<0.05). 3) Compared with the 20 ℃ group, the core body temperature and respiratory frequency of broilers in 26, 29 and 32 ℃ were significantly increased (P<0.05), the skin temperature of comb, earlobe, leg and flipper of broilers in 23, 26, 29 and 32 ℃ groups was significantly increased (P<0.05), the eyelid skin temperature of broilers in 26, 29 and 32 ℃ groups was significantly increased (P<0.05). 4) Compared with the 20 ℃ group, the serum glucose (GLU) content of broilers in 29 and 32 ℃ groups was significantly decreased (P<0.05), the serum triglyceride (TG) content of broilers in 26, 29 and 32 ℃ groups was significantly decreased (P<0.05), the serum total cholesterol (TC) content of broilers in 23, 26, 29 and 32 ℃ groups was no significant difference （P>0.05）. 5) Compared with the 20 ℃ group, the *avUCP* mRNA expression in pectoral of broilers in 23, 26, 29 and 32 ℃ groups was significantly decreased (P<0.05), the *avUCP* mRNA expression in liver of broilers in 32 ℃ group was significantly increased (P<0.05). In conclusion, acute moderate temperatures 2 h, broilers has started its chemical regulation at 23 ℃, and core body temperature increases at 26 ℃.

Key words: acute moderate ambient temperature; broilers; behavior; avian uncoupling protein

*Corresponding author, professor, E-mail: zmh66@126.com (责任编辑 武海龙)